

L.S.# 267

**Date of Opening:** April 21, 1987

H 01 B 5/02  
9/00

Assigned Representative: Mamoru Takeuchi, Patent Attorney

## Detailed Report

1. Name of the invention  
wire for electrical cable

2. Sphere of application of patent

(requested clause 1)

It is regarding wire for electrical cable which consists of composite materials made of metal and carbon fiber. Copper or aluminum is reinforced by carbon fiber with a negative coefficient of thermal expansion. The amount of carbon fiber is 5 to 30 volume %.

(requested clause 2)

It is regarding wire for electrical cable which consists of composite materials made of metal and carbon fiber. Copper or aluminum is reinforced by carbon fiber with a negative coefficient of thermal expansion. The amount of carbon fiber is 5 to 30 volume %.

3. Detailed explanation of the invention

(field of industrial use)

This invention is regarding wire for electrical cable

(prior art), (problems that this invention addresses)

Formerly, copper or aluminum has been used as the primary conductor for electrical cable. However, it stretches due to the temperature change which accompanies changing seasons and load current. Because of that, sagging occurs in the cable or stress is applied to the termination, which may cause various cable problems. To allow for thermal expansion and contraction, it is necessary to coil the cable or use an off set during installation. It is very important to use some method of compensation for thermal expansion and contraction. The cost of these methods is disproportionately high compared to the total installation costs. If too much carbon is used, it is difficult to draw the wire.

(method of solution)

This invention was made considering the above problems with the prior art. In order to improve the strength of various metals, composite materials are reinforced by putting various kinds of fiber in a metal matrix; that is, the use of fiber reinforced composite metal materials (called as FRM) has been investigated for various purposes. We noticed that carbon fiber has a negative coefficient of thermal expansion. The same

copper or aluminum which has been used for electrical cable is used as the metal matrix and carbon fiber is used as the reinforcing fiber in about 5 to 30 volume % (up to around 50 % bulk resistivity). this is drawn to a predetermined size to make an electrical conductor.

(function)

The equivalent thermal expansion co-efficient of the carbon fiber reinforced alloy  $\alpha'$  is expressed by the following formula:

$$\alpha' = (\alpha_m + A_i E_i / A_m E_m \alpha_i) / (1 + A_i E_i / A_m E_m)$$

In the above,  $\alpha$  is the co-efficient of linear expansion; A is the volume %; E is the elastic modulus; Suffix i is for the carbon fiber; and m is for the base metal (copper or aluminum).

In the above formula, since  $\alpha_i$  is negative,  $\alpha' < \alpha_m$ . That is, by reinforcing with carbon fiber, the co-efficient of linear expansion of the composite is smaller than the co-efficient of expansion of the base metal. This becomes even smaller as the amount of carbon fiber is increased. Though for electrical conductors a smaller co-efficient of expansion is better, there are reasons to limit the amount of carbon fiber which will be explained in the following. Since carbon fiber has lower conductivity than the base metal, the equivalent conductivity of the carbon fiber reinforced alloy is less than that of the base metal. Therefore, if the amount of carbon fiber is small, the expansion rate is too big. On the other hand, if the amount of carbon fiber is too big, conductivity is reduced. The amount of carbon fiber is optimized considering these factors.

(example of practice)

As example of practice 1, aluminum was used as the base metal. Short carbon fiber with 5 to 10  $\mu$  outer diameter was used as the reinforcing fiber and the amount of carbon fiber was 5 to 30 volume %. A carbon fiber reinforced aluminum wire FRM with the fiber uniformly dispersed and oriented lengthwise was manufactured.

As example of practice 2, the base metal was copper. Long carbon fiber with 5 to 10  $\mu$  outer diameter was used as the reinforcing fiber and the amount of carbon fiber was 5 to 30 volume. A rough drawn carbon fiber reinforced copper cable was manufactured by passing a long carbon fiber thread through molten copper.

Regarding these examples of practice, results of the calculations for the co-efficient of thermal expansion, bulk resistivity, and tensile strength are given in the following table:

table

	CTE	conductivity	tensile strength
ex of pract 2 Cu+C 20%	$1.08 \times 10^{-5} (C^{-1})$	$2.15 \times 10^{-8} \Omega\text{-cm}$	$94.0 \text{ kg/mm}^{-3}$

ex of pract 1       $1.27 \times 10^{-5} \text{ (C}^{-1}\text{)}$        $3.44 \times 10^{-8} \text{ } \Omega\text{-cm}$        $79.3 \text{ kg/mm}^{-3}$   
 Al+C 20%

Next, the calculations were repeated for different amounts of carbon fiber in the copper or aluminum matrix and the results are plotted in the figures. In figure 1 to figure 3, the values range from a 50% decrease in co-efficient of thermal expansion to a 50% increase in bulk resistivity. The optimum amount of carbon fiber was chosen based on these results.

(effects of this invention)

In this invention, the co-efficient of thermal expansion becomes considerably smaller, so the expansion and shrinkage due to temperature change becomes less. Therefore, sagging of the cable and stress on the termination is reduced. Accordingly, the necessity for using other methods to allow for thermal movement such as coiling or offsetting is reduced. Because of this, installation costs are reduced.

#### 4. Simple explanation of figures

Figure 1 shows the relationship between the amount of carbon fiber and the co-efficient of thermal expansion for the conductor of this invention; figure 2 shows the relationship between the amount of carbon fiber and the bulk resistivity; figure 3 shows the relationship between the amount of carbon fiber and the tensile strength.

Assigned Representative: Mamoru Takeuchi, Patent Attorney

## ⑫ 公開特許公報(A)

昭62-86606

⑬ Int. Cl.

H 01 B 5/02  
9/00

識別記号

庁内整理番号

A-7227-5E  
Z-7227-5E

⑭ 公開 昭和62年(1987)4月21日

審査請求 未請求 発明の数 2 (全3頁)

⑮ 発明の名称 ケーブル導体用素線及び電力ケーブル用導体

⑯ 特 願 昭60-224637

⑰ 出 願 昭60(1985)10月11日

⑱ 発 明 者 中 尾 由 明 東京都江東区木場1丁目5番1号 藤倉電線株式会社内  
 ⑲ 発 明 者 吉 田 昭 太 郎 東京都江東区木場1丁目5番1号 藤倉電線株式会社内  
 ⑳ 出 願 人 藤倉電線株式会社 東京都江東区木場1丁目5番1号  
 ㉑ 代 理 人 弁理士 竹 内 守

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

ケーブル導体用素線及び電力ケーブル用導体

## 2. 特許請求の範囲

(1) 銅又はアルミニウムを負の線膨張係数を有する炭素繊維で強化し、該炭素繊維の体積含有率が5～30%である炭素繊維複合金属材料からなることを特徴とするケーブル導体用素線。

(2) 銅又はアルミニウムを負の線膨張係数を有する炭素繊維で強化し、該炭素繊維の体積含有率が5～30%である炭素繊維強化複合金属材料からなることを特徴とする電力ケーブル用導体。

## 3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は導体用素線並びに電力ケーブル用導体に関するものである。

(従来の技術)(発明が解決しようとする問題点)

従来から電力ケーブルの導体としては銅又はアルミニウムが使用されているが、負荷電流及び季節変化に伴う温度変化によつて熱伸縮を起す。そのためケーブルにうねりを生じたり接続点に張力が加わつたりなどして種々のケーブル障害の原因となることがある。従つて、上記の熱伸縮を吸収させるためにケーブル布設に当たつて予めケーブルを蛇行させるいわゆるスネーク布設を行つたり、オフセットなどを設ける必要があり、これらの熱挙動対策が非常に重要であり、又この対策に要する費用の線路建設費に占める割合が大きいという問題がある。又カーボンが多いと素線として線引加工が困難となるという問題点があつた。

(問題点を解決するための手段)

本発明は、上記の問題点を解決するためになされたもので、各種の金属の強度を高めるために、各種の繊維を金属マトリックス中に介在させることによつて強化した複合材料、即ち繊維強化複合金属材料(FRMと略称されている)が種々の目的のために研究されているが、炭素繊維が負の線

膨脹係数を有していることに着目し、ベースになる金属として従来から電力ケーブルに使用されている銅又はアルミニウムとし、強化繊維として炭素繊維を用い、炭素繊維の体積含有率を5～30%（体積抵抗率で50%位まで）とした炭素繊維強化複合合金からなる荒引線を所定サイズに線引加工したものを電力ケーブル用導体とするものである。

（作用）

前記の如き炭素繊維強化合金の等価線膨脹係数 $\alpha'$ は次式で表わされる。

$$\alpha' = \frac{\alpha_m + \frac{A_i E_i}{A_m E_m} \alpha_i}{1 + \frac{A_i E_i}{A_m E_m}}$$

ここに、 $\alpha$ は線膨脹係数、 $A$ は合金に占める体積含有率、 $E$ は弾性係数であり、Suffix  $i$ は炭素繊維、 $m$ はベースになる金属（銅又はアルミニウム）を示す。

上式に於て $\alpha_i$ は負であるので、 $\alpha' < \alpha_m$ となる。

化繊維として外径5～10 $\mu$ の炭素長繊維を用い該繊維の含有率を5～30%とし長尺の炭素繊維糸を溶融銅をくぐらせることにより炭素繊維強化銅の荒引線を製造した。

上記の実施例について、線膨脹係数、体積抵抗率及び引張強さを試算した結果は次表のとおりである。

	線膨脹係数	体積抵抗率	引張強さ
実施例2 Cu+C20%	$1.08 \times 10^{-5} (1/^\circ\text{C})$	$215 \times 10^{-8} \Omega\text{-cm}$	940kg/mm <sup>2</sup>
実施例3 Al+C20%	$1.27 \times 10^{-5} (1/^\circ\text{C})$	$344 \times 10^{-8} \Omega\text{-cm}$	793kg/mm <sup>2</sup>

次にベース金属を銅又はアルミニウムとし炭素繊維の含有割合を変化させた場合の線膨脹係数及び体積抵抗率の計算値を図に示した。第1図～第3図において線膨脹係数最大で50%ダウン、体積抵抗率の50%アップ以下の値から炭素繊維の含有割合の最適値として本発明に於て前述の如く

即ち炭素繊維で強化することにより合金の線膨脹係数はベースになる金属の線膨脹係数よりも小さくなり、これは炭素繊維の含有割合が増えるに伴つて益々小さくなる。電力ケーブル用導体としては線膨脹係数は小さい程好ましいのであるが、本発明に於て炭素繊維含有率を前述の如く限定した理由を説明する。炭素繊維はベースになる金属よりも導電率が低いので炭素繊維強化合金の等価導電率はベースになる金属の導電率よりも悪くなる。そこで炭素繊維の含有量が少ないと線膨脹率が大き過ぎ、含有量が大きいと導電率が低下することから含有量を最適と判断される範囲としたものである。

（実施例）

実施例1としてベースになる金属を銅とし、強化繊維として外径5～10 $\mu$ の炭素短繊維を用い該繊維の含有率5～30%として、長手方向に繊維が均一に分散配向するようFRM化した炭素繊維強化銅線を製造加工した。

実施例2としてベースになる金属を銅とし、強

限定したものである。

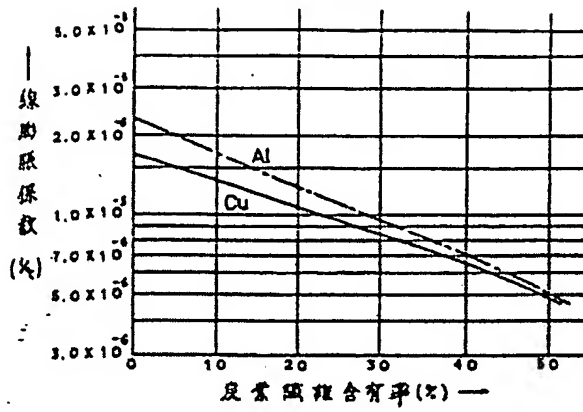
（発明の効果）

本発明によれば導体としての線膨脹係数がかたりに小さくなるので、これを電力ケーブルに用いた場合、温度変化による熱伸縮が小さくなるので、ケーブルのうねりや接続部での張力が軽減されるので、ケーブル布設に際してスネーク布設やオフセットを設けるなどの熱挙動対策が軽減されそれだけ線路建設費用の節減が期待される。

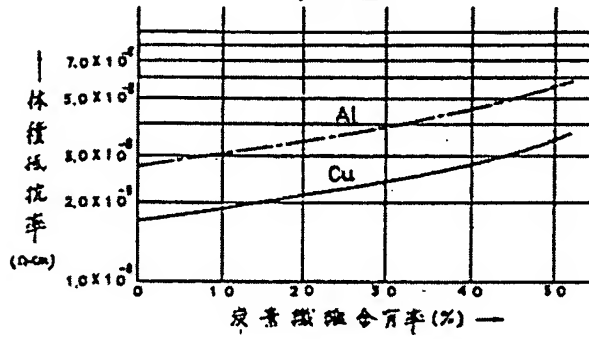
4 図面の簡単な説明

第1図は本発明の導体における炭素繊維含有率－線膨脹係数の関係を示すグラフ、第2図は炭素繊維含有率－体積抵抗率の関係を示すグラフ、第3図は炭素繊維含有率－引張り強さの関係を示すグラフである。

第1図



第2図



第3図

